Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 19, No. 1, Spring. 2021, p. 61-71

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص. ۷۱-۶۱

مقاله پژوهشی

استفاده از "حافظه تنش" برای بهبود تحمل تنش خشکی در سیب‌زمینی

امیرهوشنگ جلالی[1*]، احمد موسی پور گرجی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۶

چکیده

شناخت و بهره‌گیری از کارکردهای فیزیولوژیک گیاهی می‌تواند در مقابله با تنش‌های محیطی مانند تنش خشکی به‌کار برده شود. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر وقوع تنش خشکی در سال‌های قبل، بر تولید سال جاری چهار رقم سیب‌زمینی انجام شد. به این منظور از آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. عامل اصلی شامل دو سطح آبیاری (آبیاری کامل در رطوبت ظرفیت مزرعه و آبیاری در ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه) و عامل فرعی شامل هشت سطح (چهار رقم آگریا، مارفونا، آتوسا و آنوشا در دو حالت مقاوم شده و مقاوم نشده به خشکی) بودند. نتایج نشان داد که تأثیر برهمکنش عوامل آبیاری و رقم بر صفت عملکرد کل در سطح پنج درصد و بر عملکرد غیرقابل فروش، عملکرد قابل‌فروش و بهره‌وری آب در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بوده است. کاهش عملکرد در شرایط تنش خشکی برای ارقام آگریا، مارفونا، آتوسا، آنوشا که مقاوم‌سازی به خشکی در آن‌ها انجام نشده بود به‌ترتیب برابر با ۳۰/۶، ۲۷، ۳۹/۷ و ۳۸/۹ درصد بود. در شرایط تنش خشکی و استفاده از ارقام مقاوم شده به خشکی، کاهش عملکرد دو رقم آتوسا و آنوشا فقط ۸/۵ درصد بود. ارقام آتوسا و آنوشا به‌ترتیب با شاخص تحمل به تنش ۰/۷۲ و ۰/۶۷ درصد نسبت به دو رقم مارفونا و آگریا برتری معنی‌دار داشتند. با توجه به نتایج به نظر می‌رسد در برخی از ارقام از "حافظه تنش" می‌توان در جهت تعدیل اثرات تنش در کشت‌های بعدی استفاده نمود.

واژه‌های کلیدی: بهره‌وری آب، شاخص تحمل تنش، کاهش عملکرد

مقدمه

سیب‌زمینی (*Solanum tuberosum* L.) گیاهی حساس به تنش خشکی است. گزارش شده است که ۱۶۴/۴ هزار هکتار از اراضی کشاورزی ایران با متوسط عملکرد ۳۲/۴ تن در هکتار به کشت سیب‌زمینی اختصاص داده شده است (FAO, 2018). سیب‌زمینی یکی از منابع اصلی تغذیه انسان در کشورهای مختلف محسوب شده و به‌جز قطب جنوب تقریباً در تمام دنیا کشت می‌شود. با این وجود، اکثر مطالعات بر این نکته تأکید دارند که تا سال ۲۱۰۰ میلادی با افزایش گرمایش زمین، شدت تبخیر و تعرق و دوره‌های خشکسالی نیز افزایش می‌یابد (Obliegwu *et al*., 2015). چنین شرایطی باعث کاهش عملکرد سیب‌زمینی در فاصله زمانی سال‌های ۲۰۶۹-۲۰۴۰ خواهد شد. از میان ۲۵ کشور مطالعه شده در این فاصله زمانی، کاهش عملکرد در ایران برای ارقام سازش یافته به خشکی ۱۳/۳ درصد و برای ارقام سازش نیافته به خشکی ۴۸/۳ درصد پیش‌بینی می‌شود (Hijmans, 2003).

استفاده از غده‌هایی که در معرض تنش خشکی بوده‌اند به‌عنوان یک رویکرد جهش سازش به تنش خشکی مورد تأکید قرارگرفته و بر همین اساس واژه حافظه تنش[3] مطرح شده است (Wang *et al*., 2015). حافظه تنش در گیاهان یک ویژگی اساسی رفتار "هوشمند" است. این حافظه، محدود به مرحله جوانه‌زنی بذر (به‌عنوان مثال پرایمینگ) نشده و مراحل پس از مرحله جنینی اولیه را نیز در برمی‌گیرد، به‌طوری‌که توانایی نگه‌داشتن اثر تنش در بعضی از گونه‌ها باعث می‌شود که آن‌ها بتوانند به‌طور مؤثرتر به تنش بعدی پاسخ دهند (Munné-Bosch and Alegre, 2013). این امر لزوماً به این معنی نیست که توانایی تحمل به تنش انحصاراً باید به نسل بعدی منتقل شود بلکه ممکن است در طی یک دوره رشد نیز قابل‌ملاحظه باشد. به‌عنوان‌مثال گندم‌های بهاره‌ای که در مرحله رشد رویشی (۶ برگی- طویل شدن ساقه) در معرض تنش رطوبتی متوسط قرار گرفتند در مرحله پر شدن دانه‌ها نسبت به تنش تحمل بیشتری داشتند (Wang *et al*., 2015).

در گیاه سیب‌زمینی نیز می‌توان جهت سازگاری با تنش خشکی از حافظه تنش، استفاده نمود. گزارش شده است که آبیاری‌های مکرر و با عمق کم در مراحل اولیه رشد گیاه سیب‌زمینی به‌گونه‌ای که گیاه در

۱- استادیار پژوهش بخش تحقیقات علوم زراعی- باغی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان اصفهان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اصفهان، ایران
۲- دانشیار پژوهش، بخش تحقیقات سبزی‌های زراعی، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Jalali51@yahoo.com)
DOI: 10.22067/jcesc.2021.37175.0

3- Stress memory

معرض تنش ملایم قرار گیرد با تحریک حافظه کوتاه‌مدت باعث صرفه‌جویی در مصرف آب بدون افت عملکرد غده شده است (Silva-Díaz *et al*., 2020). در پژوهشی سه رقم سیب‌زمینی شامل یونیکا، سارناوا و دزیره در مزرعه کشت شدند. یک گروه از این ارقام به‌صورت کامل آبیاری شدند و گروه دیگر در مرحله آغاز غده‌دهی، زمانی آبیاری شدند که رطوبت خاک به ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه رسیده بود. غده‌های به‌دست‌آمده در شرایط تنش خشکی به‌عنوان غده‌های سازش یافته با خشکی در نظر گرفته شدند. در کاشت دوباره این غده‌ها رقم یونیکا به‌طور معنی‌دار کمترین کاهش عملکرد غده را نسبت به غده‌های سازش نیافته به خشکی داشت (Ramírez *et al*., 2015).

برخی از ارقام پر محصول در شرایط بدون تنش، زمانی که در معرض تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند با افت قابل ملاحظه عملکرد مواجه می شوند. شاخص تحمل تنش به ما کمک می‌کند تا پایداری عملکرد ارقام مختلف را در شرایط وجود تنش مقایسه نماییم (Rudack *et al*., 2017). این شاخص نسبت به سایر شاخص‌های ارزیابی محدودیت رطوبتی در سیب‌زمینی، از کارایی بالاتری برخوردار بوده (Hossain *et al*., 2017) و در برخی از پژوهش‌ها با تلفیق شاخص تحمل تنش با سایر شاخص های گیاهی سعی شده ارقام مقاوم به تغییرات اقلیمی جداسازی شوند (Pradel *et al*., 2019).

وقوع تنش خشکی و اثرات منفی آن بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی در ایران، توجه و به‌کارگیری روش‌های جدید برای مقابله با آن را اجتناب‌ناپذیر ساخته است. تأثیر تنش‌های کوتاه‌مدت بر رشد و عملکرد سیب‌زمینی در پژوهش‌های زیادی بررسی‌شده اما تأثیر تنش‌های بلندمدت و قابلیت انتقال آن به کشت بعدی کمتر موردتوجه قرارگرفته است. پژوهش حاضر با هدف ایجاد سازگاری به تنش خشکی در چهار رقم سیب‌زمینی با ایجاد تنش خشکی مصنوعی و بررسی امکان انتقال اثرات آن از طریق "حافظه تنش گیاه" به نسل بعد انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در ایستگاه تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی رزوه، شهرستان چادگان (طول جغرافیایی ۵۰ درجه و ۳۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی) با ارتفاع ۲۲۳۰ متر از سطح دریا انجام شد. برخی از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاک محل آزمایش در جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به نتایج آزمون خاک، نیازی به استفاده از کودهای فسفر و پتاسیم وجود نداشت. ۱۵۰ کیلوگرم نیتروژن خالص (از نوع کود اوره) در سه نوبت قبل از کاشت، مرحله پنج تا شش برگی (هنگام خاک دهی پای بوته) و مرحله رشد سریع غده ها (کامل شدن رشد رویشی) به زمین اضافه شد.

جدول ۱- ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Soil physical and chemical properties of experimental field

نیتروژن Nitrogen (%)	پتاسیم Potassium (mg.kg^{-1})	فسفر Phosphor (mg.kg^{-1})	مواد آلی Organic matter (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی Electrical conductivity (dS.m^{-1})	رس Clay (%)	سیلت Silt (%)	شن Sand (%)
0.06	410	26	0.55	7.7	3.5	44.4	41.2	14.4

نیمی از غده‌های بذری مورد نیاز، از غده‌های تنش دیده در آزمایش سال قبل به‌دست آمد. در آزمایش سال قبل، دو تیمار آبیاری شامل آبیاری کامل (بر اساس رطوبت در حد ظرفیت مزرعه) و آبیاری معادل ۷۵ درصد آبیاری کامل در طول دوره رشد به‌عنوان عامل اصلی و ارقام سیب‌زمینی به‌عنوان عامل فرعی در نظر گرفته شده بودند. دو آبیاری اول تا استقرار اولیه برای همه کرت‌ها یکسان و بر اساس رطوبت در حد ظرفیت مزرعه در نظر گرفته شده بود. ارقام مارفونا و آگریا جزو ارقام متداول هستند که در شرایط زارعین اصفهان کشت می‌شوند و ارقام آتوسا و آنوشا که قبلاً به‌ترتیب با نام کلون‌های KSG82 و KSG31 شناخته می‌شدند، اخیراً توسط موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کشور نامگذاری و معرفی شده‌اند. این ارقام پرمحصول، متوسط رس، دومنظوره (تازه‌خوری و مصرف در صنایع تبدیلی) و مقاوم به بیماری‌های ویروسی هستند (Seed and Plant Improvement Institute, 2020).

برای انجام پژوهش حاضر از آزمایش کرت‌های خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار استفاده شد. عامل اصلی شامل دو سطح آبیاری (آبیاری کامل در رطوبت ظرفیت مزرعه و آبیاری در ۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه) و عامل فرعی شامل هشت سطح (چهار رقم آگریا، مارفونا، آتوسا و آنوشا که سال قبل تحت تنش خشکی (۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه) قرار داشتند و همین ارقام که سال قبل در شرایط آبیاری نرمال قرار داشتند) بود؛ بنابراین تیمار آبیاری کامل برای چهار رقم آگریا، مارفونا، آتوسا و آنوشای به‌دست‌آمده از آزمایش سال قبل (ارقام مقاوم شده به خشکی) و همان چهار رقم که سال قبل در معرض تنش خشکی قرار نداشتند، به همراه تیمار تنش خشکی (۷۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه) برای همان هشت رقمی که در آبیاری کامل به آن اشاره شد، اعمال گردید. هر کرت شامل چهار خط کشت به طول چهار متر بود که به‌ترتیب فاصله بین و روی ردیف در آن ۷۵ و ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.

تیمار آبیاری برای کلیه کرت‌ها سیستم قطره‌ای توسط لوله‌هایی با قطر ۱۶ میلی‌متر دارای قطره چکان‌های پلاک‌دار در فاصله ۲۵ سانتی‌متری با دبی ۱/۵ لیتر در ساعت انجام شد. برای تعیین دقیق میزان آب مصرفی در ابتدای هر بلوک یک کنتور نصب و میزان آب مصرفی در هر دور آبیاری یادداشت‌برداری شد. جهت جلوگیری از نشت آب بین تیمارهای تنش و شاهد دو ردیف نکاشت منظور گردید.

عملیات سرزنی اندام‌های هوایی جهت ضخیم شدن پوست غده و جلوگیری از صدمات هنگام برداشت انجام گردید. جهت برآورد عملکرد و اجزای عملکرد، دو متر از ردیف‌های وسط هر کرت برداشت شد. غده‌های دارای شکاف، غده‌های پوسیده، بد شکل و دارای رشد ثانویه، غده‌هایی که دارای بیش از ۴ جوش اسکب بر روی پوست بودند و همچنین غده‌های با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر به‌عنوان غده‌های غیرقابل فروش در نظر گرفته شدند (Parvizi *et al*., 2011). غده‌ها در اول خرداد ماه کشت شده و در ۱۵ مهرماه برداشت شدند. شاخص بهره‌وری آب آبیاری با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید (Tanner and Sinclair, 1983).

$$WUE= Y/WC \qquad (۱)$$

در این رابطه، Y عملکرد قابل فروش محصول و WC مقدار آب مصرفی است.

شاخص تحمل تنش نیز با استفاده از رابطه (۲) محاسبه شد (Fernandez, 1992):

$$STI= (Yp\times Ys)/\hat{Y}_p^{\,2} \qquad (۲)$$

در این رابطه STI، Y_p، Y_s و $\hat{Y}_p$ به‌ترتیب شاخص تحمل تنش، عملکرد در شرایط بدون تنش، عملکرد در شرایط تنش و میانگین کل عملکرد تمام ارقام در شرایط عدم تنش هستند. شاخص سطح برگ به‌صورت غیر تخریبی با دستگاه LI-COR LAI2000 (Li-Cor Inc., Lincoln, Nebraska) اندازه‌گیری شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و برای مقایسه میانگین‌ها از آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن (در سطح احتمال پنج درصد) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس صفات مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است. تأثیر عامل آبیاری بر عملکرد کل، عملکرد قابل فروش و عملکرد غیر قابل فروش در سطح احتمال یک درصد و بر بهره‌وری آب در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار بود. تأثیر برهمکنش عوامل آبیاری و رقم بر صفات عملکرد کل در سطح احتمال ۵ درصد و بر عملکرد غیر قابل فروش، عملکرد قابل فروش، بهره‌وری آب، شاخص سطح برگ و شاخص تحمل تنش در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود. تأثیر عامل رقم بر صفات مورد مطالعه نیز در سطح احتمال ۵ درصد معنی‌دار شد.

جدول ۲- تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اثرات سطوح آبیاری و رقم بر عملکرد و کارایی مصرف آب سیب‌زمینی

Table 2- Analysis of variance (mean square) of irrigation levels and cultivars effects on yield, and water use efficiency of potato

منابع تغییرات Source of variation	درجه آزادی d.f	میانگین مربعات Mean squares					
		عملکرد کل Total yield	عملکرد قابل فروش Marketable yield	عملکرد غیر قابل فروش Non-marketable yield	بهره‌وری آب آبیاری Water use efficiency	شاخص سطح برگ Leaf area index	شاخص تحمل تنش Stress tolerance index
بلوک Block	2	0.500 ns	0.090 ns	0.182 ns	0.058 ns	0.004 ns	0.105 ns
آبیاری Irrigation (I)	1	14.930 **	31.081**	7.890 **	0.780 *	0.123*	3.980**
خطا a Error a	2	1.940	2.411	0.341	0.072	0.080	0.170
رقم Cultivar (C)	7	3.240*	37.081*	5.942 *	1.081 *	0.230*	2.802*
آبیاری× رقم (C × I)	7	17.350**	45.870*	7.641 *	0.882 *	4.901**	5.028**
خطا b Error b	28	1.980	25.380	4.052	0.321	1.098	1.002
ضریب تغییرات CV (%)		14.6	13.2	11.2	10.3	8.4	8.0

**، * و ns به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم وجود اثر معنی‌دار

**, * and ns significant difference over control at p< 0.01 and p< 0.05 and not significantly respectively

مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه در سطوح برهمکنش عوامل آبیاری و رقم در جدول ۳ ارائه شده است. عملکرد کل در هشت رقم آزمایشی در شرایط آبیاری کامل در دامنه‌ای از ۳۰ تا ۳۹ تن در هکتار قرار داشت. در این شرایط ارقام مقاوم شده بـه خشـکی (بـه‌جـز رقـم آگریا) با ارقام معادل خود در حالت معمول (عدم مقاوم سازی نسبت به تنش خشکی) از نظر عملکردی در یـک گـروه آمـاری قـرار گرفتنـد. آگریای مقاوم شده به خشکی تنها موردی بود کـه در شـرایط آبیـاری کامل، نسبت به رقم مقاوم نشده به‌طـور معنـی‌دار عملکـرد بیشـتری تولید نمود. افزایش ۲۰ درصدی عملکرد کل آگریای مقـاوم شـده بـه خشکی در شرایط آبیاری کامل به این دلیل است که این رقم به‌عنوان تنها رقم دیررس در میان ارقام آزمایشی در شرایط معمول دارای تعداد غده غیر قابل فروش نسبتاً زیادی بود (جدول ۳). با توجه بـه ایـن‌کـه یکی از اثـرات ایجـاد مقاومـت در گیاهـان مختلـف افـزایش سـرعت تشکیل سایه‌انداز و استقرار اولیه بوتـه بـوده (شـکل ۱) (Jalali and Salehi, 2013) و استقرار اولیه سریع‌تر تا پایان دوره رشد نیـز بـرای گیاه مزیت‌هایی مثل فرصت بیشتر برای حجیم شـدن غـده را فـراهم می‌کند، بنابراین در مورد رقم آگریای مقاوم شده نیـز ایـن تسـریع در رشد باعث کاهش عملکرد غیر قابل فروش و تبدیل بخشی از آن بـه عملکرد قابل فروش شد. چنین مزیتی برای سـایر ارقـام مقـاوم شـده وجود نداشت زیرا عملکرد غیر قابل فروش رقم مارفونا (زودرس) و دو رقم آنوشا و آتوسا (متوسط رس) بسیار کمتـر از رقـم آگریـا بـود. بـه عبارت ساده‌تر این ارقام به دلیل طول دوره رشـد محـدود در شـرایط معمول نیز دارای غده‌های غیر قابل فروش کمتـری نسـبت بـه رقـم آگریا هستند. در شرایط تنش خشکی، اگرچـه همـه ارقـام نسـبت بـه شرایط رطوبت کافی با کاهش عملکرد روبـه‌رو شـدند امـا ایـن افـت عملکرد (عملکرد کـل و عملکـرد قابـل فـروش) در دو رقـم آتوسـا و آنوشای مقاوم شده به خشکی حـداقل بـود (جـدول ۳). درصـد افـت عملکرد ارقام آزمایشی در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط تأمین رطوبت کافی در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود واکنش ارقام به تنش خشکی هـم در ارقـام مقـاوم شـده بـه خشکی و هم در ارقام مقاوم نشده کاملاً متفاوت است. در میان ارقـام مقاوم نشده، دو رقم آتوسا و آنوشا به‌ترتیب بـا کـاهش عملکـرد ۴۰ و ۳۹ درصدی نسبت به دو رقم آگریا و مارفونا افت عملکرد بیشـتری را تجربه کردند. ارقام جدید معرفی‌شده اگرچـه دارای پتانسـیل عملکـرد زیادتری نسبت به ارقام قدیمی هستند ولی ازنظر نیازهای زراعی مثل آب آبیاری پرتوقع‌تر محسوب شده و در مقابل تنش خشـکی بـا افـت عملکرد زیادتری مواجه می‌شوند (Fandika *et al*., 2016).

آگریای مقاوم شده به خشکی نیز به دلیل دیررس بودن و داشـتن شاخ و برگ زیادتر در شرایط عدم تأمین رطوبت کافی نتوانست مثـل شرایط آبیاری کامل برتری عملکرد خود را حفظ نمایـد و بـا افـت ۴۹ درصدی عملکرد مواجه شد (شکل ۲). به‌طور مشـابه در پژوهشـی در ایالت آیداهوی آمریکا رقم دیررس آلتوراز[1] اگرچه رقمی با عملکرد بالا ارزیابی شد ولی در شرایط تنش خشکی نسبت به سایر ارقام بیشترین کاهش عملکـرد را داشـت (Stark *et al*., 2013). در شـرایط تـنش خشکی دو رقم آتوسا و آنوشای مقـاوم شـده نسـبت بـه سـایر ارقـام بالاترین عملکرد (جـدول ۳) و نسـبت بـه شـرایط تـأمین آب کـافی کمترین کاهش عملکرد را داشتند (فقط ۸/۵ درصد کاهش) (شکل ۲). به نظر می رسد ارقام جدید در مقایسـه بـا ارقـام قـدیمی‌تـر (آگریـا و مارفونا) نسبت به مقاوم سازی به خشکی واکـنش بهتـری داشته‌انـد. نتایج مشابهی در رابطه با مقاوم‌سازی سه رقـم سـیب‌زمینـی یونیکـا، سارناوا و دزیره به تنش خشکی (۵۰ درصد ظرفیت مزرعـه) مشـاهده شد و در کاشت دوباره این غده‌ها رقم یونیکا به‌طور معنی‌دار کمتـرین کاهش عملکرد غده را داشت، درحالی‌که، ارقـام قـدیمی‌تـر (دزیـره و ساماو) چنین توانایی را نداشـتند (Ramírez *et al*., 2015). برخـی از پژوهشگران وجود چنین تفاوت‌هایی بین ارقام را به تعامل بین زمینـه ژنتیکی و الگوهای وراثت اپی ژنتیکی (اثرات غیر ژنتیکی در بیان ژن) نسبت داده‌اند (Zhang *et al*., 2008).

تأثیر برهمکنش رقم و آبیاری بر بهره‌وری آب آبیاری در شکل ۳ مقایسه شده‌اند. دامنه تغییـرات بهـره‌وری آب آبیـاری از ۴/۸ تـا ۷/۶ کیلوگرم بـه ازای هـر مترمکعـب آب مصـرفی بـه‌ترتیـب در دو رقـم آگریای تولید شده در شرایط بـدون تـنش و آنوشـای مقـام شـده بـه خشکی در شرایط تنش خشکی مشاهده شد. آگریای مقـاوم شـده بـه خشکی در شرایط بدون تنش با ۶/۶ کیلوگرم به ازای هـر مترمکعـب آب مصـرفی نسـبت بـه شـرایط تـنش (۴/۹ کیلـوگرم بـه ازای هـر مترمکعب آب مصرفی) به‌طور معنی‌دار بهره‌وری آب بیشتری داشـت. ارقام آتوسا و آنوشای مقاوم شده به خشکی در شرایط تـنش خشـکی به‌ترتیب با بهره‌وری آب ۷/۱ و ۷/۶ کیلوگرم بـه ازای هـر مترمکعـب آب مصرفی نسبت به حالت بدون تنش (به‌ترتیب ۶/۶ و ۶/۴ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی) برتری معنـی‌دار داشـتند. در بقیـه ارقام تفاوت معنی‌داری بین بهـره‌وری آب در شـرایط تـنش و بـدون تنش مشاهده نشد (شکل ۳). دلیل افزایش بهـره‌وری آب در آگریـای مقاوم شده به خشکی در حالت بدون تنش همان‌طور که قبلاً ذکر شد افزایش عملکرد این رقم به دلیل سرعت استقرار و رشـد بیشـتر ایـن رقم دیررس در شرایط مقاوم‌سازی است. بهره‌وری آب آبیاری در گیاه سیب‌زمینی با توجه به شرایط اقلیمی و نوع رقم متفاوت است (Jalali *et al*., 2017). در برخی پژوهش‌ها بـه ایـن نکتـه اشاره شـده کـه تنش‌های ملایم مـی‌توانـد بهـره‌وری آب آبیـاری در سـیب‌زمینـی را افزایش دهد اما تنش‌های شدید تأثیر معکوسـی در ایـن زمینـه دارنـد

1- Alturas

(Reddy *et al.*, 2016). در تنش‌های ملایم تعرق بیشتر از فتوسنتز کاهش‌یافته و موجب افزایش بهره‌وری آب می‌شود (Reyes-Cabrera *et al.*, 2016). نتایج یک مطالعه بر روی ۱۴ رقم سیب‌زمینی در دو شرایط تأمین رطوبت کافی و تنش خشکی نشان داد در شرایط تأمین رطوبت کافی دمای سایه‌انداز ارقام متحمل به خشکی سیب‌زمینی نسبت به ارقام حساس بالاتر بود که بیانگر کاهش سطح تعرق و در نتیجه حفظ رطوبت بیشتر در خاک بود (Stark *et al.*, 2013).

مقایسه شاخص تحمل تنش در ارقام آزمایشی در شکل ۴ ارائه شده است. این نتایج نشان می‌دهد در شرایطی که مقاوم‌سازی ارقام به تنش خشکی انجام نشده است، ارقامی مثل مارفونا و آگریا با شاخص تحمل تنش ۰/۵۵ کمترین سطح تحمل به خشکی را داشتند. در این حالت ارقام آتوسا و آنوشا به‌ترتیب با شاخص تحمل به تنش ۰/۷۲ و ۰/۶۷ نسبت به دو رقم مارفونا و آگریا برتری معنی‌دار نشان دادند ولی بین این دو رقم تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد.

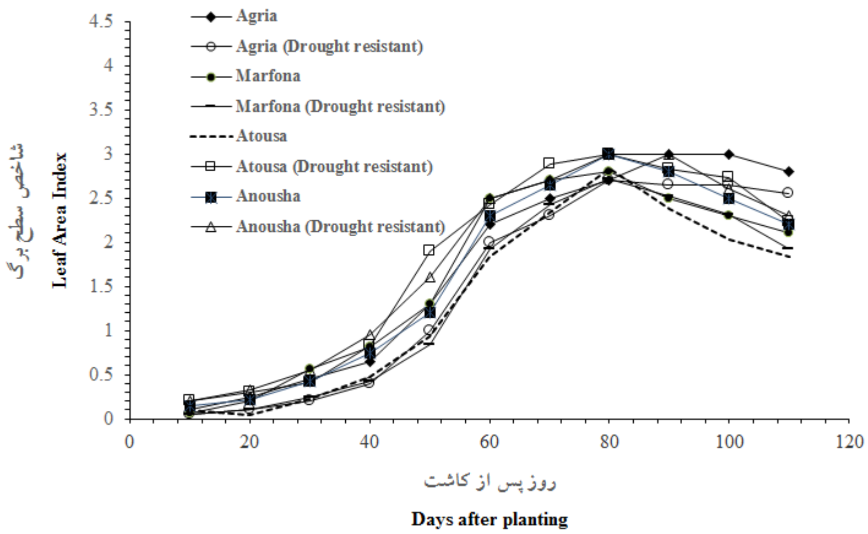
جدول ۳- مقایسه میانگین صفات عملکرد کل، عملکرد قابل فروش و عملکرد غیر قابل فروش در سطوح برهمکنش آبیاری و رقم

Table 3- Mean comparison of total yield, marketable yield and non-marketable yield in irrigation and cultivar interaction

تیمارها Treatments	ارقام Cultivars	عملکرد کل Total yield (t.ha^{-1})	عملکرد غیر قابل فروش Non-marketable yield (t.ha^{-1})	عملکرد قابل فروش Marketable yield (t.ha^{-1})
آبیاری کامل Full irrigation	آگریا Agria	32.78b	7.90 a	24.65 b
	مارفونا Marfona	30.45 b	4.35 b	26.40 b
	آتوسا Atousa	39.45 a	5.11 b	34.20 a
	آنوشا Anousha	37.34 a	5.76 b	32.78 ab
	آگریا (مقاوم شده به خشکی) Agria (Drought resistant)	39.76 a	4.00 b	35.50 a
	مارفونا (مقاوم شده به خشکی) Marfona (Drought resistant)	31.30 b	4.10 b	27.10 b
	آتوسا (مقاوم شده به خشکی) Atousa (Drought resistant)	35.94 ab	4.70 b	31.20 ab
	آنوشا (مقاوم شده به خشکی) Anousha (Drought resistant)	36.00 ab	4.15 b	32.00 ab
تنش خشکی Drought stress	آگریا Agria	21.11 b	3.90 a	17. 10 b
	مارفونا Marfona	22.48 b	3.45 a	19.20 b
	آتوسا Atousa	22.75 b	2.11 a	20.60 b
	آنوشا Anousha	21.46 b	2.36 a	20.00 b
	آگریا (مقاوم شده به خشکی) Agria (Drought resistant)	20.76 b	3.00 a	18.10 b
	مارفونا (مقاوم شده به خشکی) Marfona (Drought resistant)	21.90 b	3.21 a	18.70 b
	آتوسا (مقاوم شده به خشکی) Atousa (Drought resistant)	30.64 a	1.85 b	28.53 a
	آنوشا (مقاوم شده به خشکی) Anousha (Drought resistant)	31.12 a	1.93 b	29.31 a

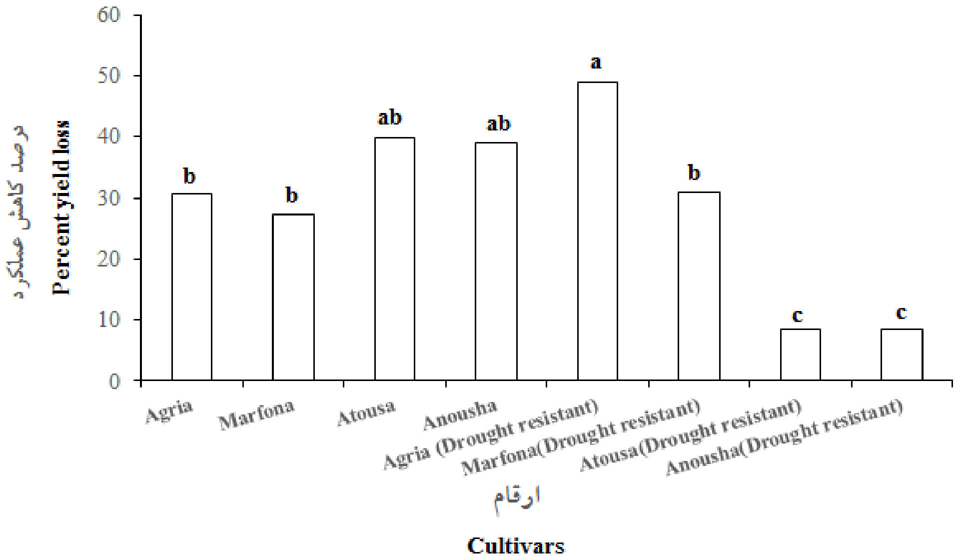
برای هر سطح آبیاری، میانگین‌های دارای حروف مشابه در هر ستون بر اساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد اختلاف معنی‌دار ندارند.

For each irrigation level, the means with the same letters in columns are not significantly different according to Duncan multiple range test (five percent probability)



شکل ۱- روند تغییرات سطح برگ ارقام مورد مطالعه سیب‌زمینی در طول دوره رشد در شرایط آبیاری کامل

Figure 1- Trend of leaf surface changes of experimental potato cultivars during the growing season under full irrigation condition

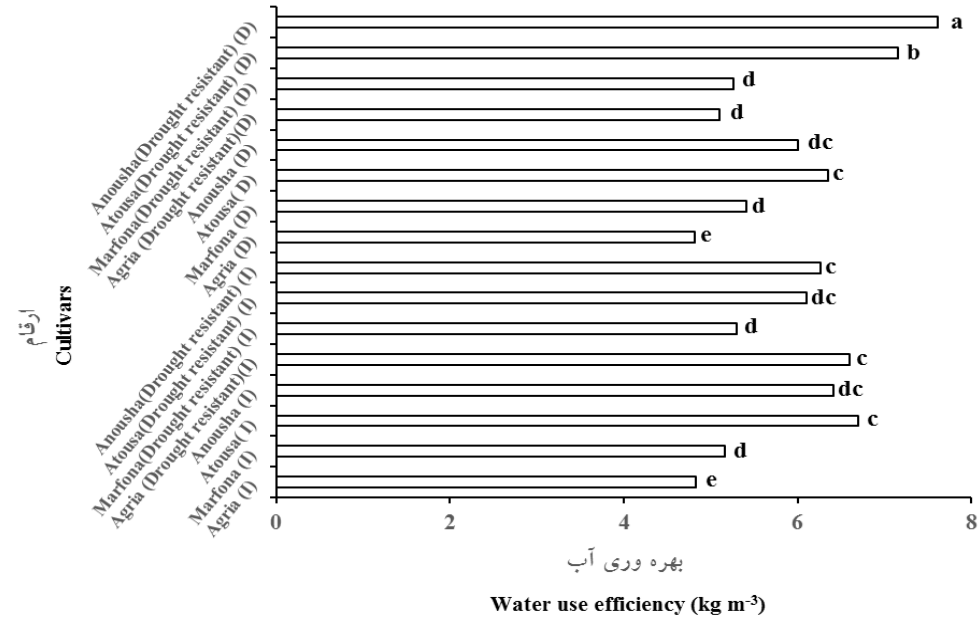


شکل ۲- درصد کاهش عملکرد ارقام مورد مطالعه در شرایط تنش خشکی نسبت به شرایط آبیاری کامل. حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (دانکن ۵ درصد)

Figure 2- Yield loss percentage of experimental cultivars under drought stress condition compared to full irrigation condition. Common letters in columns indicate no significant difference (Duncan 5%)

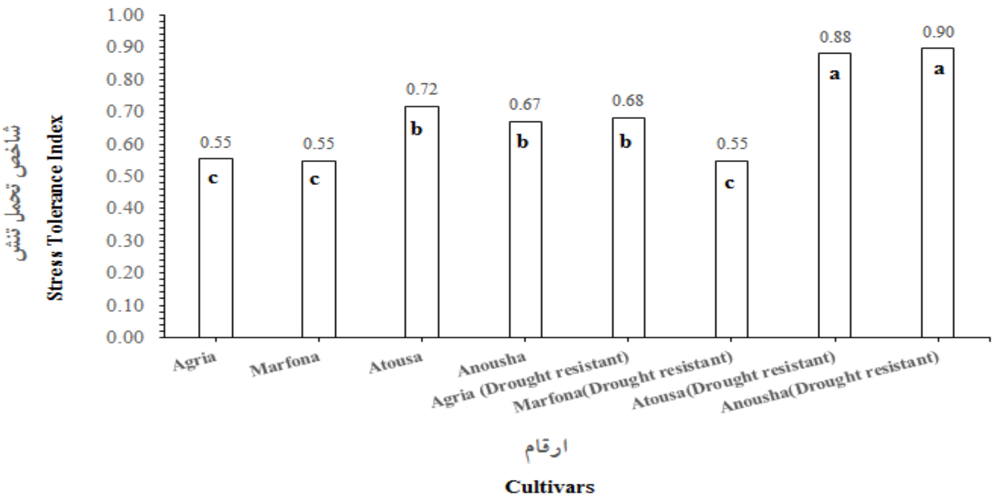
ارقام با شاخص تحمل بزرگ‌تر (نزدیک به ۱) از تحمل بالاتری نسبت به کم‌آبی برخوردارند. به‌جز رقم مارفونا، بقیه ارقام در حالت مقاوم شده به تنش خشکی، شاخص تحمل تنش بیشتری نسبت به حالت مقاوم نشده داشتند. شاخص تحمل به تنش در شرایط القاء مقاومت به تنش خشکی نسبت به شرایط معمول (بدون القاء) در ارقام آگریا، آتوسا و آنوشا به‌ترتیب ۲۳/۶، ۲۲/۲ و ۳۴/۳ درصد افزایش داشت. در پژوهشی در مرکز تحقیقات گیاهان گرمسیری، چهار رقم سیب‌زمینی اطلس، مارانکا، اورست و آرمادا ازنظر شاخص تحمل به تنش ارزیابی شدند و مشخص شد دو رقم اطلس و مارانکا به‌ترتیب با شاخص‌های تحمل تنش ۰/۷۹ و ۰/۸۱ به تنش خشکی متحمل‌تر هستند (Rodríguez *et al.*, 2016). در پژوهش دیگری تأثیر تنش خشکی شامل ۲۰ و ۷۰ درصد رطوبت در دسترس خاک ارزیابی و

شاخص تحمل به تنش ۱۰ رقم سیب‌زمینی شامل آگریا، آریندا، مارفونا، بانبا، بورن، سانته، میلوا، ساتینا، جیلی و اسپیریت به‌ترتیب ۰/۷۶۰، ۰/۲۰۷، ۰/۵۹۸، ۰/۲۷۷، ۰/۰۸۷، ۰/۳۰۳، ۲۰۱، ۰/۲۱۷، ۰/۲۲۴ و ۰/۳۵۱ اندازه‌گیری شد (Alhoshan *et al*., 2019).



شکل ۳- مقایسه برهمکنش اثر رقم و آبیاری بر بهره‌وری آب. برای هر رقم، حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (دانکن ۵ درصد). I و D به‌ترتیب بیانگر شرایط آبیاری معمول و شرایط تنش رطوبتی است.

Figure 3- Comparison of water use efficiency in experimental cultivars under drought stress and full irrigation. For each cultivar, common letters indicate no significant difference (Duncan 5%). I and D indicates normal irrigation and water stress condition, respectively.



شکل ٤- مقایسه شاخص تحمل تنش در ارقام آزمایشی. حروف مشترک بیانگر عدم تفاوت معنی‌دار است (دانکن ۵ درصد).

Figure 4- Comparison of stress tolerance index in experimental cultivars. Common letters in columns indicate no significant difference (Duncan 5%)

نتیجه‌گیری

نتایج به‌دست‌آمده در این پژوهش بیانگر آن است که نه‌تنها تحمل تنش خشکی در ارقام مختلف سیب‌زمینی متفاوت است بلکه حافظه تنش در ارقام مختلف نیز دارای تفاوت‌هایی است. استفاده از

غده‌هایی که در مرحله تولید آن‌ها تنش خشکی وجود داشته است می‌تواند بر رفتار کشت بعدی حاصل از این غده‌ها تأثیرگذار باشد. کشت غده‌های تنش دیده در رقمی مثل آگریا فقط در شرایط مطلوب رطوبتی دارای مزیت بود و منجر به افزایش ۲۰ درصدی عملکرد کل این رقم شد. کشت مجدد غده‌هایی که در فصل قبلی رشد در معرض تنش بوده‌اند در شرایط تنش خشکی مجدد، در ارقام مختلف واکنش‌های متفاوتی را در پی داشت. در ارقام آگریا و مارفونا، کشت غده‌های که قبلاً در معرض تنش خشکی قرار داشته‌اند (مقاوم شده به خشکی) در شرایط تنش خشکی مزیتی برای عملکرد این ارقام در پی نداشت، درحالی‌که در دو رقم آتوسا و آنوشا در این شرایط کمترین میزان کاهش عملکرد (۸/۵ درصد) مشاهده شد. استفاده کارآمدتر از منابع آبی موجود یکی از دلایل جلوگیری از کاهش عملکرد در ارقام مقاوم شده به خشکی بود. بهره‌وری آب ۷/۱ و ۷/۶ کیلوگرم به ازای هر مترمکعب آب مصرفی به‌ترتیب در ارقام آتوسا و آنوشای مقاوم شده به خشکی در شرایط تنش خشکی شاهدی بر این مدعا است. با توجه به نتایج این پژوهش به نظر می‌رسد بررسی واکنش ارقام به تنش خشکی و استفاده از "حافظه تنش" می‌تواند در برخی از ارقام جهت بهبود عملکرد مورد بهره‌برداری قرار گیرد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به جهت همکاری و تأمین اعتبار لازم جهت این پژوهش در قالب پروژه تحقیقاتی سپاسگزاری نمایند.

References

1. Alhoshan, M., Zahedi, M., Ramin, A. A., and Sabzalian, M. R. 2019. Effect of soil drought on polymorphisms in Arabidopsis thaliana using whole genome tiling arrays. PLoS Genet, 4(3), p.e1000032 biomass production, physiological attributes and antioxidant enzymes activities of potato cultivars. Russian Journal of Plant Physiology 66: 265-277.
2. FAO (Food and Agriculture Organization). 2018. FAOSTAT, Retrieved January 12, 2017, Available at: http://faostat.fao.org/site/291/default.aspx.
3. Fandika, I. R., Kemp, P. D., Millner, J. P., Horne, D., and Roskruge, N. 2016. Irrigation and nitrogen effects on tuber yield and water use efficiency of heritage and modern potato cultivars. Agricultural Water Management 170: 148-157.
4. Fernandez, G. C. J. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: Adaptation of food crops to temperature and water stress tolerance, Kuo, C.G. (Ed.). Asian Vegetable Research and Development Center, Taiwan, pp: 257-270.
5. Hijmans, R. J. 2003. The effect of climate change on global potato production. American Journal of Potato Research 80: 271-279.
6. Hossain, M., Zakaria, M., Mian, M. K., Karim, M. A. and Hossain, M. 2017. Stress tolerance attributes and yield based selection of potato genotypes for water stress environment. Songklanakarin Journal of Science and Technology 39: 185-194
7. Jalali, A. H. and Salehi, F. 2013. Sugar beet yield as affected by seed priming and weed control. Archives of Agronomy and Soil Science 59: 281-288.
8. Jalali, A. H., Salemi, H., Nikouei, A., Gavangy, S., Rezaei, M., Khodagholi, M., and Toomanian, N. 2017. Determination of water requirement for potato in different climates of Isfahan province. Applied Research in Field Crops 30: 53-73. (in Persian).
9. Munné-Bosch, S., and Alegre, L. 2013. Cross-stress tolerance and stress" memory" in plants. Environmental and Experimental Botany 94: 1-88.
10. Pradel, W., Gatto, M., Hareau, G., Pandey, S. K., and Bhardway, V. 2019. Adoption of potato varieties and their role for climate change adaptation in India. Climate Risk Management 23: 114-123.
11. Ramírez, D. A., Rolando, J. L., Yactayo, W., Monneveux, P., Mares, V., and Quiroz, R. 2015. Improving potato drought tolerance through the induction of long-term water stress memory. Plant Science 238: 26-32.
12. Reddy, J. M., Jumaboev, K., Bobojonov, I., Carli, C., and Eshmuratov, D. 2016. Yield and water use efficiency of potato varieties under different soil-moisture stress conditions in the Fergana Valley of Central Asia. Agroecology and Sustainable Food Systems 40: 407-431.
13. Reyes-Cabrera, J., Zotarelli, L., Dukes, M. D., Rowland, D. L., and Sargent, S. A. 2016. Soil moisture distribution under drip irrigation and seepage for potato production. Agricultural Water Management 169: 183-192.
14. Rodríguez, A. M., Tejón, A. M., and del Sol, D. R. 2016. Agronomical indicators for determination of potato (*Solanum tuberosum* L.) tolerance to drought. Agrisost 22: 1-7.
15. Rudack, K., Seddig, S., Sprenger, H., Köhl, K., Uptmoor, R., and Ordon, F. 2017. Drought stress-induced changes in starch yield and physiological traits in potato. Journal of Agronomy and Crop Science 203: 494-505.
16. Seed and Plant Improvement Institute, 2020. Indicative achievements. Vegetables, summer and pulses crops research department. Available at: http://spii.ir/fa-IR/DouranPortal/1/page/.

17. Silva-Díaz, C., Ramírez, D. A., Rodríguez-Delfín, A., de Mendiburu, F., Rinza, J., Ninanya, J., Loayza, H., and Quiroz, R. 2020. Unraveling Ecophysiological Mechanisms in Potatoes under Different Irrigation Methods: A Preliminary Field Evaluation Agronomy 10: 827.
18. Stark, J. C., Love, S. L., King, B. A., Marshall, J. M., Bohl, W. H., and Salaiz, T. 2013. Potato cultivar response to seasonal drought patterns. American Journal of Potato Research 90: 207-216.
19. Tanner, C. B., and Sinclair, T. R. 1983. Efficient water use in crop production: Research or re-research? P.1-27.In H.M. Taylor et al. (ed.) Limitations to efficient water use in crop production. American Statistical Association, Madison, WI.
20. Zhang, X., Shiu, S., Cal, A., and Borevitz, J. O. 2008. Global analysis of genetic, epigenetic and transcriptional.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 19, No. 1, Spring. 2021, p. 61-71

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۹، شماره ۱، بهار ۱۴۰۰، ص. ۷۱-۶۱

The Use of "Stress Memory" to Improve Drought Stress Tolerance in Potato

A. H. Jalali[1*], A. Mousapour Gorji[2]

Received: 22-09-2020
Accepted: 24-02-2021

Introduction

Potato (*Solanum tuberosum* L.) as a drought sensitive crop is one of the main sources of human nutrition in different countries and it is cultivated almost all over the world. It is predicted that among the 25 studied countries, the decline in potato yield in Iran between 2040 and 2069 will be 13.3% for drought-adapted cultivars and 48.3% for non-drought-adapted cultivars. Annually 164.4 thousand hectares of agricultural lands in Iran are allocated to potato cultivation with a yield of 32.4 t ha^{-1}.

Nowadays, plant biology is experiencing great advances in studies related to the complex behavior of higher plants, and stress memory is one of these progresses. Stress memory involves the accumulation of signaling proteins or transcription factors and epigenetic mechanisms in plants that leads to an improvement in the stress response when plants are exposed to a subsequent stress event. “Stress memory” in plants is also an essential feature of “intelligent” behavior and can be investigated at different levels.

Materials and Methods

In order to investigate the effect of drought stress on yield and yield components of four potato cultivars, a study was conducted in 2020 in Rozveh Agricultural Research Station, Chadegan city. Half of the required seed tubers were obtained from the previous year's experiment. The treatments were laid out in a split plot arrangement in a randomized complete block design with three replications. Main plots included two irrigation treatments (100% and 75% of the field capacity) and sub-plots included four potato cultivars (Agria, Marfona, Atousa, and Anousha). Each plot consisted of four rows with four m length and 75 cm × 25 cm of plant density. At harvest time, two meters of the middle rows of each plot were used to estimate yield and yield components. Stress tolerance index and water use efficiency were investigated in this study. SAS software (version 9.1) was used to analyze the data and Duncan's multi-domain comparison method (5%) was used to compare the means.

Results and Discussion

The effect of irrigation treatment on total yield, marketable and non-marketable yield, and on water use efficiency was statistically significant at the level of 1% and 5%, respectively. The effects of interaction between irrigation treatment and cultivar on total yield was significant at 5% probability level, and on non-marketable yield, marketable yield, and water use efficiency were significant at 1% probability level. The total yield in 8 experimental treatments under full irrigation conditions ranged from 30 to 39 t ha^{-1}. In full irrigation conditions, Agria was the only cultivar that produced a significantly higher yield than other cultivars. Among the non-resistant cultivars, Atousa and Anousha cultivars experienced a greater yield decline of 40% and 39%, respectively, than Agria and Marfona cultivars. In drought stress conditions, two resistant cultivars, Atousa and Anousha, had the highest yield compared to other cultivars and the lowest yield compared to adequate water supply conditions (only 8.5% yield loss). Drought-resistant Atousa and Anousha cultivars with water use efficiency of 7.1 and 7.6 kg m^{-3}, respectively, compared to the non-stress condition (6.1 and 6.2 kg m^{-3}, respectively) had significant superiority.

Conclusions

The results indicated that not only drought tolerance is different in different potato cultivars but also stress memory is different in different cultivars. The use of tubers that have been exposed to drought stress (drought

1- Assistant Professor, Horticulture Crops Research Department, Isfahan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Isfahan, Iran
2- Associate Professor, Vegetable Research Department, Seed and Plant Improvement Institute, AREEO, Karaj, Iran
(*- Corresponding Author Email: jalali51@yahoo.com)

tolerant) during previous growth stages can affect plant behavior in the current growth. According to the results, it seems that in some cultivars, "stress memory" can be used to moderate the effects of stress in subsequent cultures.

Keywords: Stress tolerance index, Water use efficiency, Yield loss